

H-SILTOJEN OHJAUSPIIRI

Radio-ohjaus kahdelle moottorille

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietokone-elektroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2011
Riku-Pekka Rauhala

Lahden ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

RAUHALA, RIKU-PEKKA ANTERO: H-siltojen ohjauspiiri
Radio-ohjaus kahdelle moottorille

Tietokone-elektroniikan opinnäytetyö, 34 sivua, 15 liitesivua

Kevät 2011

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa akkukäyttöinen ohjauspiiri kahdelle tehokkaalle DC-moottorille. Ohjauspiirin tuli pystyä ohjaamaan yli 20 ampeerin virtoja, vaihtamaan suuntaa sekä säätää moottoreiden pyörimisnopeuksia, jos ohjaussignaali sen mahdollistaa.

Moottoreiden ohjaus toteutettiin kahdella n-feteillä toteutetulla H-sillalla. Fettejä ohjattiin puolestaan kahdella HIP4081 H-siltaohjaimella, joista kumpikin ohjasi omaa H-siltaansa. Siltaohjaimet saivat ohjaussignaalin AND-porttipiirin kautta, mikä mahdollisti jokaiselle ohjaussignaalille oman rajakytkimen lisäämisen, jos tarve näin vaatisi.

Signaalin tuottamiseen käytettiin kaupallisesta radio-ohjattavasta veneestä purettua hieman muokattua vastaanotinta sekä sen omaa ohjainta, johon piti myös tehdä pieni muutos.

Ensimmäisessä osiossa keskitytään ohjauspiirin piirikaavion suunnitteluun, käytössä olleisiin ohjelmistoihin, tasavirtamoottoreiden ohjauksen toteutustapoihin sekä sopivien komponenttien valintaan.

Toisessa osiossa keskitytään itse piirilevyn valmistukseen, sen aiheuttamiin rajoituksiin ja muutoksiin suunnittelussa, komponenttien koteloiden vaikutukseen suunnittelussa sekä piirikortin lopulliseen kasaukseen. Lisäksi osiossa käsitellään ohjauspiirin mittauksia, virheen etsintää ja pohditaan mahdollisia virheitä ja parannuksia.

Avainsanat: DC-moottori, H-silta, fet, HIP4081, piirilevy, suunnittelu

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Computer Electronics

RAUHALA, RIKU-PEKKA ANTERO: H-bridge control circuit
Radio control for two motors

Bachelor's Thesis in Computer Electronics. 34 pages, 15 appendices

Spring 2011

ABSTRACT

The objective of this thesis was to design and manufacture a battery powered control circuit for two high power DC motors. The control circuit had to be able to control currents over 20 amperes, change the rotating directions of the motors, and to adjust the speeds of the motors, if only the controlling signal allows doing so.

Control of the motors was designed to be based on two H-bridges, made from four n-fets each. They are controlled by two HIP4081 H-bridge control circuits, one for each H-bridge. Control circuits get their control signals via an AND-gate circuit, which allows each signal to have its own border switch, if necessary.

Signals were created by a controller that was taken from a commercial radio controlled boat and its slightly modified receiver.

In first section of the thesis, the focus is on designing the circuit diagram, available programs, the ways of implementing direct current motor controls and in choosing suitable components.

In the second section, the focus is on manufacturing the circuit board, on restrictions and changes to the design that manufacturing causes, on the influence of the component's casing on design, and on the final assembly of the control circuit. In addition, there are measurements of the circuit and some error detection. There is also some analysis of possible defects and discussion of potential improvements to the circuit.

Key words: DC motor, fet, H-bridge, HIP4081, circuit board, designing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	DC-MOOTTORI	3
2.1	DC-moottorin perusteet	3
2.2	DC-moottorin ohjaus	4
2.2.1	Relekytkentä	4
2.2.2	Potentiometrisäätö	4
2.2.3	H-silta	4
3	FET	6
3.1	JFET	7
3.2	MOSFET	7
4	KOMPONENTTIEN VALINTA	8
4.1	Moottoreiden ohjaus	8
4.2	Ohjaussignaalit	9
4.2.1	Signaalien käsittelyyn tarvittavat komponentit	9
4.2.2	HIP4081:n oheiskomponentit	10
4.3	Käyttöjännitteet	10
4.4	Jännitevahti	11
4.5	Suotokondensaattorit	12
4.6	Liittimet	12
4.7	Radio-ohjaus	12
4.8	Komponenttien hankinta	13
5	PIIRIKAAVION JA -LEVYN SUUNNITTELU	14
5.1	HIP4081	15
5.2	Jännitevahti	16
6	PIIRILEVYN VALMISTUS	17
6.1	Alussa ilmenneet ongelmat	17
6.2	Komponenttien juottaminen piirilevylle	19
7	TESTAUS JA MITTAUKSET	19
8	YHTEENVETO	22

8.1	Virheet suunnittelussa	24
8.2	Virheet piirilevyn valmistuksessa	25
8.3	Mahdolliset parannukset	26
9	LÄHTEET	27
10	LIITTEET	29

1 JOHDANTO

Työn tavoite oli suunnitella ja toteuttaa akkukäyttöinen ohjainpiiri tehokkaille DC-moottoreille. Piirillä piti pystyä ohjaamaan kahta DC-moottoria, jotka voisivat viedä jopa yli 20 ampeeria virtaa, niiden pyörimissuuntaa sekä -nopeutta piti pystyä muuttamaan, ja lisäksi niille piti saada kytkettyä rajakytkimet. Lisäksi koska kyseessä oli akkukäyttöinen sovellus, piti ohjainpiirin toimia useilla eri akkujännitteillä ja vahtia, ettei akkujännite laske liian matalaksi.

Ohjainpiirin suunnittelun alussa kartoitettiin järkeviä tapoja ohjata DC-moottoreita. Näistä valittiin n-feteillä toteutettu H-silta parhaaksi, pieneten häviöiden, suhteellisen häiriöttömyyden, hyvän jännitteen ja virran keston sekä helpon ohjattavuuden vuoksi.

N-fetit vaativat varauspumpun toimiakseen h-sillan ylempinä fetteinä ja lisäksi ylempien ja alempien fettien avautumisissa ja sulkeutumisissa pitää olla pieni viive, ettei h-sillassa pääse tapahtumaan läpilyöntiä. Nämä seikat vaikuttivat hip4081 – piirin valintaan, koska ne molemmat löytyvät tästä piiristä.

Itse piirikaavion suunnittelu suoritettiin ensin PADS Logic -ohjelmalla, mutta tuotannollisista syistä se jouduttiin tekemään uusiksi Eagle Layout editor -ohjelman ilmaisversiolla, jolla myös suunniteltiin itse piirilevy.

Piirilevy valmistettiin juuri koululle hankitulla protojyrsimellä, joka oli piirilevyä tehdessä vielä testivaiheessa. Tämä ja Eagle Layout editor -ohjelman ilmaisversion rajoitukset aiheuttivat monia muutoksia alkuperäisiin suunnitelmiin komponenttien valinnassa, piirilevyn osasijoittelussa ja valmistuksessa.

Kokoonpanossa ja mittauksissa huomattiin ongelmia ja virheitä, joista osa johtui valmistusmenetelmästä sekä virheestä HIP4081-piirin datalehdessä. Myös ohjaus-signaalin tuottamiseen käytetyssä, kaupallisesta radio-ohjattavasta veneestä puretussa ja muokatussa vastaanottimessa, oli yksi aiemmin käyttämättömänä ollut kanava epäkunnossa.

Lisäksi, juuri ennen piirilevyn jyrsimisen aloittamista, vaihdettiin neljän transistorin komponenttikuvat ja kiireessä laitettiin väärillä pinnijärjestyksillä olevat transistorit. Tämä huomattiin vasta kun kaikki komponentit oli juotettu piirilevylle ja mittaukset aloitettu. Virhe oli helposti korjattavissa irrottamalla transistorit ja taivutteleamalla niiden jalat uuteen järjestykseen ennen takaisin juottamista.

2 DC-MOOTTORI

2.1 DC-moottorin perusteet

DC-moottorit voidaan luokitella kahteen eri luokkaan, sekä niiden alaluokkiin:

- harjalliset moottorit.
 - kestmagnetoidut
 - sarjakäämitetyt
 - rinnakkaiskäämitetyt
 - rinnakkais- ja sarjakäämitetyt
- harjattomat moottorit
 - kestmagnetoidut

(Matilainen & Helenius 2010)

Tässä työssä keskityttiin ohjaamaan kestmagnetoituja harjallisia DC-moottoreita, joten muiden harjallisten tai harjattoman moottorin ohjauksia ei tässä työssä käsitellä.

Perinteisessä DC-moottorissa on sähköliittimessä kaksi napaa, joihin syötetään haluttua jännitettä, jännitteen napaisuutta vaihtamalla saadaan moottori pyörimään eri suuntaan.

DC-moottori perustuu kommutaattoriin, hiiliharjoihin, paikallaan oleviin kestmagneetteihin, sekä pyöriviin sähkömagneetteihin. Sähkömagneetit saavat virran kommutaattorien ja hiiliharjojen kautta. Tämä aiheuttaa muutoksia magneettikentässä ja saa moottorin pyörimään. Tämä kaikki perustuu Lorentzin voimaan.

(DC motor 2011; Lorentzin voima 2011)

2.2 DC-moottorin ohjaus

DC-moottorille on monia erilaisia ohjaustapoja, jotka sopivat erilaisiin tilanteisiin. Eri ohjaustavoilla on omat hyvät ja huonot puolensa.

2.2.1 Relekytkentä

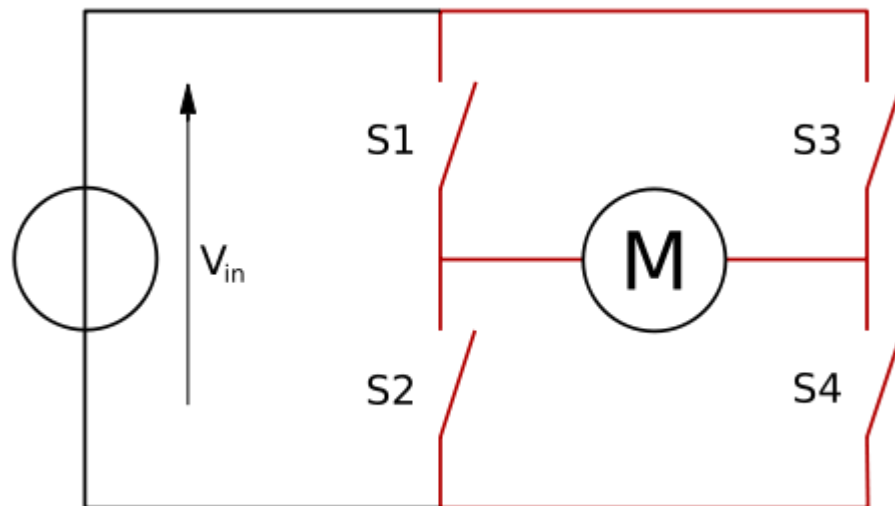
Relekytkentä on helppo kasata mutta voi tulla kalliiksi, koska releitä tarvitaan useita, varsinkin jos halutaan vaihtaa suuntaa. Releellä on myös hankala säätää pyörimisnopeutta, koska releet eivät sovellu korkeille kytkentätaajuuksille, joten se tarvitsisi erillisen nopeudensäädön. Lisäksi releet aiheuttavat paljon sähkömagneettista häiriötä kytkeytyessään ja avautuessaan varsinkin, jos kytkentätaajuus nousee korkeaksi. Rele on myös mekaaninen komponentti, joka kuluu ja likaantuu käytön myötä, mikä taas voi aiheuttaa virheitä toiminnassa.

2.2.2 Potentiometrisäätö

Potentiometrisäätö sopii ainoastaan pienille tehoille, koska siinä hukattava teho muuttuu lämmöksi ja helposti rikkoo isommilla tehoilla potentiometrin. Lisäksi potentiometriä käytettäessä moottorin ohjaukseen tarvitaan myös erillinen suunnanvaihdin, koska potentiometrillä tätä ei voi hoitaa.

2.2.3 H-silta

H-silta sopii erinomaisesti DC-moottorin ohjaukseen, koska se on suhteellisen halpa ja helppo, ja sillä pystyy säätämään pulssinleveysmoduloidun pwm-signaalin avulla helposti pyörimisnopeutta, sekä suunnanvaihto onnistuu helposti. Kuvio 1:ssä on esitetty h-sillan periaatteellinen toiminta. Pyörimissuunta määräytyy h-sillassa sen mukaan, mitkä kytkimistä johtavat samaan aikaan. Samalla puolella olevat kytkimet eivät missään vaiheessa saa olla samaan aikaan johtavassa tilassa, koska tällöin tapahtuisi läpilyönti, joka rikkoo osat.



KUVIO 1. H-sillan periaate (H bridge, 2011)

H-sillasta on erilaisia versioita, joista transistoreilla toteutettu versio sopii hyvin pienille tehoille, ja sitä on myös helppo ohjata. Feteillä toteutettavia h-siltoja on kahta eri tyyppiä; toisessa ovat ylempinä fetteinä p-fetit, jolloin kytkentä soveltuu keskisuurille virroille ja on vielä helposti ohjattavissa. P-fettien ongelmana on n-fettejä noin kolme kertaa suurempi sisäinen resistanssi $R_{DS(on)}$, joka aiheuttaa tehohäviöitä ja komponenttien kuumenemista. (H bridge 2011.)

Kokonaan n-feteillä toteutettu h-silta on tehokkaampi, koska siinä ei häviä tehoa ylempiin fetteihin, eikä se myöskään kuumene yhtä paljon. N-fettien ongelmana on hankalampi ohjaus, koska n-fetti tarvitsee hilalleen suuremman jännitteen, kuin sen nielulla on. Tähän on ratkaisuna joko varauspumppu tai hakkuriteholähde, joilla tehdään sopivat käyttöjännitteet.

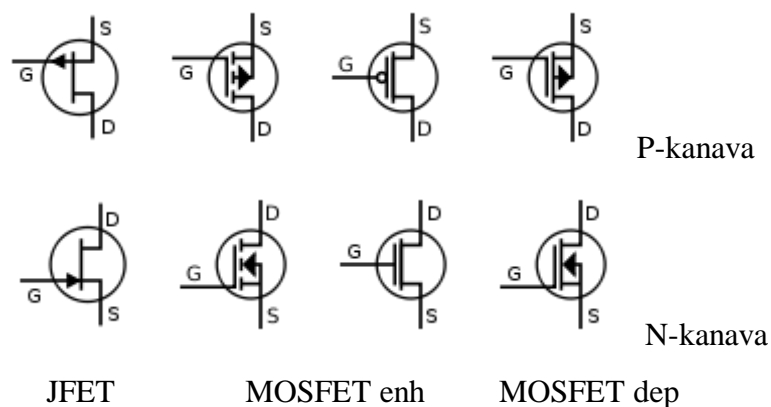
N-feteistä tehdyille h-silloille on myös saatavana valmiita ohjainpiirejä, joissa on sisäinen varauspumppu ylemmille n-feteille. Näiden piirien avulla pystyy helposti ohjaamaan kokonaista h-siltaa ilman erillisiä varauspumppuja tai hakkuriteholähteitä. Lisäksi näissä piireissä on yleensä integroituna myös viive, jonka avulla estetään h-sillassa muuten tapahtuva mahdollinen läpilyönti. Läpilyönnissä sekä ylä- että alapuolen fetit johtavat samalla puolella samaan aikaan aiheuttaen oikosulun.

3 FET

FET (field-effect transistor) on kanavatransistori, jossa puolijohdekentässä liikkuvia varauksenkuljettajia ohjataan sähkökentän avulla. Vaikka fet muistuttaa osin perinteistä bipolaaritransistoria (BJT, Bipolar Junction Transistor), on näissä myös paljon eroja. Bipolaaritransistorissa on kahdenlaisia varauksenkuljettajia (aukkoja ja elektroneja), kun taas kanavatransistorissa, eli fetissä, on vain toisenlaisia varauksenkuljettajia (n-kanavaisessa elektroneja, p-kanavaisessa aukkoja). Iso ero on myös transistorien toiminnassa, fetin läpi kulkeva virta on verrannollinen sen tulon jännitteeseen, kun taas bipolaaritransistori toimii virtavahvistimena. Myös transistorien liitospisteiden nimeämisessä on ero, kun bipolaaritransistorissa pisteiden nimet ovat kollektori C (Collector), kanta B (Base) ja emitteri E (Emitter), ovat fetin liitospisteet lähde S (Source), hila G (Gate) ja nielu D (Drain).

(Transistori 2011; Transistor 2011.)

Fetit voidaan jakaa varauksenkuljettajien mukaan n-kanavaisiin ja p-kanavaisiin (Kuvio 2). Fettejä on rakenteeltaan useita erilaisia, mutta tärkeimmät niistä ovat JFET (junction gate field-effect transistor, liitoskanavatransistori), sekä MOSFET (metal–oxide–semiconductor field-effect transistor, eristehilatransistori).



KUVIO 2. JFET:ien, sekä avaus- ja tyhjennysmoodisten fettien piirrosmerkit.

(MOSFETa 2011.)

3.1 JFET

JFET eli liitoskanavatransistori on yksinkertaisin kanavatransistoreista. Sitä voidaan käyttää elektronisesti ohjattuna kytkimenä, kuten muitakin transistoreja tai jänniteohjattuna vastuksena. Normaalisti se johtaa virtaa lävitseen, mutta kun hilalle aletaan tuoda jännitettä, alkaa sen sisälle muodostua aluetta, jossa varauksenkuljettajat eivät kulje, ja kun hilajännite on tarpeeksi korkea, ei lähteen ja nielun välillä kulje enää yhtään varauksenkuljettimia, ja jfet on näin ollen estotilassa, eikä sen läpi kulje virtaa. Kanavan tyyppi vaikuttaa siihen, pitääkö hilan ja lähteen välisen jännitteen V_{GS} olla positiivinen vai negatiivinen, jotta se sulkeutuisi. (JFETa 2010; JFETb 2011.)

3.2 MOSFET

MOSFET, eli metallioksidi-puolijohdekanavatransistori tai eristehilatransistori, on kaikkein yleisin kanavatransistori. Metalli-sana nimessä on harhaanjohtava, sillä nykyisissä mosfeteissä ei varhaisten mosfettien tapaan käytetä metallisia hiloja, vaan polypiiistä valmistettuja. Tosin metalliset hilat ovat tekemässä paluuta, koska transistorien nopeutta alkaa olla hankala nostaa ilman metallisia hiloja. Kun hilan ja lähteen välille tuodaan riittävä jännite-ero V_{GS} , muodostuu mosfetin sisälle niin sanottu käänteinen kanava. Käänteisen kanavan avulla muodostuu kanava lähteen ja nielun välille, joka taas mahdollistaa virran kulkemisen. Hilan ja lähteen välistä jännitettä V_{GS} säätämällä voidaan vaikuttaa sisäisen väylän johtavuuteen ja siten myös säätää virran I_{DS} kulkua nielun ja lähteen välillä. (MOSFETa 2011; MOSFETb 2011.)

MOSFET:istä käytetään useita erilaisia piirrosmerkkejä. Perussymbolissa on tavallisesti viiva kanavana johon lähde ja nielu liittyvät kohtisuorassa ja kääntyvät myöhemmin kanavan viivan suuntaisiksi. Joskus kanavan viiva on pätkinä viitaten avauksilaiseen (enhancement mode) puolijohteeseen ja yhtenäisenä viitaten tyhjennystilaiseen (depletion mode) puolijohteeseen, mutta koska katkoviivan piirto on hankalahkoa tätä seikkaa ei yleensä piirretä. Kanavan rinnalle sitä koskettamatta piirretään toinen viiva hilaksi. (MOSFETa 2011.)

4 KOMPONENTTIEN VALINTA

4.1 Moottoreiden ohjaus

Komponentteja valitessa tiedettiin moottoreiksi tulevan kestopommitoidut harjalliset moottorit, joiden käyttöjännite tulisi olemaan 12 - 24 voltia, sekä niiden suurin ottama virta tulisi olemaan noin 20 ampeeria. Tämän perusteella valittiin moottoreiden ohjaustavaksi h-silta toteutettuna kokonaan n-feteillä. Tämä tarkoitti myös erillisen ohjauspiirin valitsemista helpottamaan fetten ohjausta.

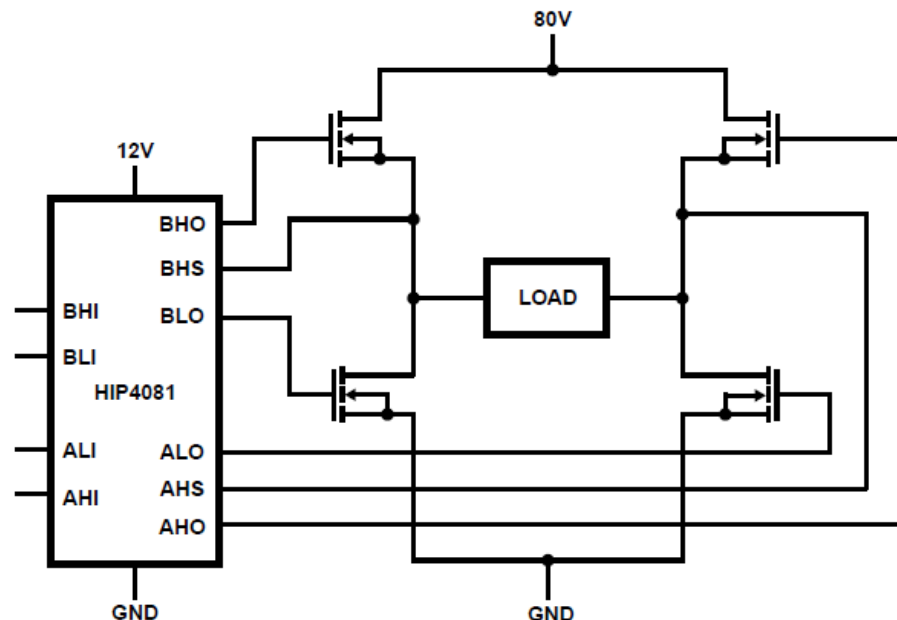
H-sillan n-kanavaisiksi feteiksi valittiin STMicroelectronicsin valmistamat STB75NF75-mosfetit. Näiden nielun ja lähteen välinen jännitekesto V_{DS} on 75 voltia ja nieluvirran I_D kesto 80 ampeeria. Näiden pitäisi kestää moottorien aiheuttamat jännite- ja virtapiikit. Lisäksi valituilla feteillä on myös suhteellisen alhainen sisäinen resistanssi $R_{DS(on)}$, joka on alle 11 milliohmia, mikä myös auttaa fetten lämmöntuoton hallitsemisessa. Lämmön hallitsemiseksi kiinnitetään fetit myös jäähdytyspiiliin, jotta fetten lämmöt eivät nousisi liian korkeiksi. (STP75NF75 2007.)

Fetten lisäsuojaksi moottorin aiheuttamia jännite- ja virtapiikkejä vastaan valittiin myös saman valmistajan kaksisuuntaiset TVS (Transient Voltage Suppressor) diodit, malliltaan 1.5KE56CA. Näiden diodien tarkoitus on hallitusti purkaa 56 voltin rajan ylittävät jännitepiikit maapotentiaaliin, jotta jännite ei rikkoisi fettejä. Lisäksi jännitelähtöjen yhteyteen laitettiin yksi iso yhden millifaradin elektrolyyttikondensaattori, joka näkyy keskellä ylhäällä liitteessä 7, tasaamaan moottorin aiheuttamia jännitevaihteluja. (1.5KE6V8CA/440CA 2002.)

4.2 Ohjaussignaalit

4.2.1 Signaalien käsittelyyn tarvittavat komponentit

Fettien ohjaukseen valittiin kaksi Intersilin valmistamaa HIP4081 H-siltaohjainta (kuvio 3), koska kyseisessä ohjaimessa on sisäinen varauspumppu, sisäänrakennetut viiveet fettien avautumisille ja sulkeutumisille, sillä pystyy ohjaamaan useampaa fettiä rinnan siltä varalta, jos kuorman virrantarve kasvaisi tulevaisuudessa. Lisäksi siinä voi olla h-sillan ylempien fettien lähteen jännite V_S jopa 80 voltia, siinä on laaja käyttöjännitealue kuudesta voltista 15 volttiin. Ohjaussignaaleiksi se tarvitsee vain kaksi signaalia, jotka eivät voi olla samaan aikaan ylösvedettyinä. Lisäksi se tarvitsee yhden disable signaalin, jolla voidaan estää kaikki sisään menevät signaalit. Tätä ominaisuutta hyödynnettiin muun muassa luotettavan käynnistyksen takaamisessa virtojen kytkentähetkellä sekä akun jännitevahdin yhteydessä. (HIP4081 1999.)



KUVIO 3. HIP4081-piirin tyypillinen kytkentä (HIP4081 1999.)

Koska yhtä moottoria kohden tarvittiin yksi H-silta ja sen ohjauksesta huolehti yksi HIP4081-piiri, joka tarvitsi kaksi ohjaussignaalia, tarvittiin koko ohjainpiirille yhteensä neljä ohjaussignaalia. Lisäksi näille ohjaussignaaleille haluttiin jokaiselle mahdollisuus omaan rajakytkimeen, valittiin rajakytkinten ja ohjaussignaalien yhdistämiseen yksi neliporttinen M74HC08 AND-piiri, jossa jokaisella AND-portilla on kaksi sisääntuloa. Porttien tulot kytkettiin vielä nelinapaisiin piikkirimoihin siten, että kytkentäpalan paikkaa vaihtamalla pystyttiin joko ottamaan rajakytkin käyttöön tai yhdistämään portin sisääntulot, jolloin AND-portista tuli pelkkä pieni viive ohjaussignaalin. (M74HC08 1992.)

4.2.2 HIP4081:n oheiskomponentit

HIP4081-piiri tarvitsee kaksi vastusta viiveiden HDEL- ja LDEL-pinnien ja maapotentiaalin väliin. Näillä määritellään fettien avautumis- ja sulkeutumisviiveet. Sisäiset varauspumput tarvitsevat toimiakseen yhden diodin ja yhden polaarisen kondensaattorin, molemmille ylempien fettien varauspumpuille. Eli yhteensä kaksi diodia ja kaksi kondensaattoria yhtä HIP4081-piiriä kohden.

Kondensaattorina käytettiin kymmenen mikrofardin elektrolyttikondensaattoria 50 voltin jännitekestoilla. Diodina käytettiin SB160 schottkydiodia, koska se on tavallista diodia nopeampi, siinä on pieni tehonhäviö, ja tähän sovellukseen riittävä 60 voltin jännitekesto. Lisäksi samoja diodeja käytettiin myös piiriltä fettien hiloille menevien signaalien välissä estosuunnassa 100 ohmin vastusten rinnalla, nopeuttamassa hilajännitteen purkautumista.

4.3 Käyttöjännitteet

Käyttöjännitteet ohjainkortin eri piireille tuotettiin regulaattoreilla. Alkuun HIP4081-piirien käyttöjännitteeksi suunniteltiin kahdeksaa voltia, koska datalehdissä luvattiin käyttöjännitealueen alkavan jo kuudesta voltista. Regulaattoriksi valittiin LDO-tyyppinen LM2940T-8 -jänniteregulaattori, koska sen jännitepudotus

(dropout) oli vain 0,5 voltia, reguloitu jännite oli kahdeksan voltia ja sen maksimi antovirta oli yksi ampeeri. (LM2940 2003.)

Tällä regulaattorilla ohjainkortti olisi toiminut minimissään 8,5 voltin käyttöjännitteellä vielä moitteetta. Myöhemmissä mittauksissa todettiin HIP4081-piirien vaativan todellisuudessa vähintään 8,5 voltia käyttöjännitteeksi toimiakseen, joten regulaattoriksi jouduttiin vaihtamaan elektroniikkalaboratorion hyllystä löytynyt 7810-sarjan regulaattori, joka antaa kymmenen voltin reguloitua jännitettä ja tarvitsee toimiakseen vähintään 12 voltin käyttöjännitteen ohjainpiirille.

AND-piirin tarvitsema viiden voltin käyttöjännitteen tuottamiseen valittiin MC7805ACTG-regulaattori, joka tuottaa viiden voltin reguloitua jännitettä, tarvitsee vähintään 7 voltin käyttöjännitteen ohjainpiirille, jonka maksimi antovirta on yksi ampeeri. Reguloidusta viiden voltin käyttöjännitteestä otettiin myös 1N4007-diodilla jännitettä alentamalla noin 4,3 voltin käyttöjännite ulkoiselle radio-ohjauksen vastaanottimelle sekä kahdelle merkkidiodille. Merkkidiodina toimi virranmerkkivalona perinteinen 5 mm vihreä diodi, 100 ohmin etuvastuksella ja jännitevahdin merkkivalona perinteinen 5 mm punainen diodi, 100 ohmin etuvastuksella. (MC7800 2008.)

Piirilevyn käyttöjännitteen kytkentää varten levyllä kiinnitettiin kytkin, jolla ohjattiin relettä, joka sijaitsi irrallaan levystä, virtajohtimessa piirilevyn ja akun välissä. Kytkimeksi valittiin hyllystä löytynyt kaksiasentoinen piirilevylle juotettava liukukytkin. Ennen relettä oli myös autokäyttöön tarkoitettu 25 ampeerin sulake. Autokäyttöön tarkoitettu sulake valittiin, koska minulla sattui olemaan ylimääräisenä yksi sulakepesä, ylimääräisiä sulakkeita ja koska autosulakkeissa on riittävä katkaisuvirta akkukäyttöön.

4.4 Jännitevahti

Jännitevahti toteutettiin hyvin yksinkertaisella transistorikytkennällä, jossa oli yhteensä neljä BC337-transistoria, kaksi zenerdiodia, yksi palautuva kytkin, yksi led,

muutamia etuvastuksia ja kaksi piikkirimaa kytkentäpaloineen. Toinen piikkirimoista oli kolmenapainen ja toinen oli kuusinapainen.

4.5 Suotokondensaattorit

HIP4081-piirien, sekä AND-piirin suotokondensaattoreiksi valittiin 100 nanofaradin keraamiset kondensaattorit. Regulaattoreille valittiin kondensaattorit datalehtien perusteella. Yksi yhteinen 470 nanofaradin tantaalikondensaattori käyttöjännitteeseen, molemmille reguloituihin jännitteisiin kymmenen nanofaradin tantaalikondensaattorit ja lisäksi 7805-regulaattorin reguloituun jännitteeseen vielä yksi 22 mikrofardin elektrolyttikondensaattori. Ulkoiselle radiovastaanottimelle ja merkidiodeille menevään diodilla laskettuun 4,5 voltin jännitteeseen lisättiin myös yksi 470 nanofaradin tantaalikondensaattori.

4.6 Liittimet

Piirilevylle suunniteltiin myös liittimet moottoreiden- ja piirilevyn käyttöjännitteiden johtimia varten. Liittimet olivat kaksinapaisia läpiladottavia ruuviliittimiä, joihin mahtui $2,5 \text{ mm}^2$ monisäikeinen johdin sisälle. Näitä tuli yhteensä kolme, eli kummallekin moottorille omansa ja käyttöjännitteille oma. Piirilevylle tuli myös yksi 16-napainen läpiladottava liitin, jossa oli irrotettava ruuviliitinosa. Tämän kautta levyille tulivat ohjaussignaalit, rajakytkinten signaalit ja virtakytkimen jatkuva virta. Tästä liittimestä lähti levyältä poispäin virtakytkimen ohjaussignaali releelle sekä käyttöjännite ja maa ulkoiselle radiovastaanottimelle. Liittimet näkyvät liitteessä 7.

4.7 Radio-ohjaus

Moottoreiden ohjaus päätettiin jo heti alussa hoitaa kaupallisesta radio-ohjattavasta veneestä puretulla ja muokatulla vastaanottimella (liite 11) ja sen lähettimellä (liite 11). Veneessä ei alun perin ollut pakkia, ja kääntyminen hoidettiin sammuttamalla kahdesta moottorista toinen ja käynnistämällä toinen. Lähettimeen ei tarvinnut teh-

dä muita muutoksia kuin lisätä lähettimen peruutuspuolesta johdin ohjainsauvan liukukyttimeen.

Vastaanottimessa oli puolestaan isompi työ, koska sen piirilevystä piti ensin tehdä piirikaavio, jota tutkimalla selvisi poistettavat komponentit, joita oli noin puolet levyllä olevista komponenteista. Lisäksi piti lisätä muutama hyppylanka, uudet virtajohtimet, käytössä olleilta ohjauspinneiltä lähteneiden vastusten tyhjiin reikiin johtimet, sekä lisätä vastaanottimen peruutuspuolelta suoraan johdin. Vastaanottimen antennina toimi tässä vaiheessa pätkä kytkentälankaa juotettuna suoraan piirilevyllä. Liitteessä 12 näkyy alkuperäisen ja muokatun vastaanottimen piirikaavioiden erot.

4.8 Komponenttien hankinta

Suurin osa komponenteista tilattiin Elfalta valitsemalla hinnan ja ominaisuuksien kannalta kannattavimmat komponentit. Komponenteista piti muistaa myös varmistaa, etteivät ne ole poistuvia tuotteita, koska niiden tilalle ei välttämättä saisi enää myöhemmin täysin vastaavia osia, mikä taas hankaloittaisi myöhempää piirikortin korjaamista, tai jos haluttaisi tehdä toinen vastaava, pitäisi sen piirilevy pahimmassa tapauksessa suunnitella uusiksi. Myös varastotilanne oli hyvä tarkistaa, ennen osien valitsemista ja tilaamista, koska jos tuote olisi ollut loppu, olisi pitänyt pahimmassa tapauksessa piirilevy myös suunnitella uusiksi, koska ei olisi välttämättä ollut varmuutta komponenttien saamisesta. Komponenttien määriä päätettäessä oli hyvä tilata halpoja komponentteja muutama ylimääräinen, sillä joissakin tuotteissa se laski komponentin kappalehintaa ja näin myös yhteishintaa. Lisäksi kun tilattiin enemmän kuin oli tarve, ei olisi haitannut, jos jokin komponentti olisi hajonnut tai hävinnyt. Tietenkään kalliimpia ei kannata tällaisen pienen projektin takia tilata useita kappaleita varalle, mutta isompaa prototyyppiä tehdessä on kalliinkin komponentin hinta häviävän pieni verrattuna sen häviämisen tai hajoamisen aiheuttamien viivästysten kustannuksiin.

Ne komponentit, joita ei tilattu Elfalta, löytyivät suoraan elektroniikkalaboratorion hyllystä. Näitä olivat vastukset, zenerdiodit, 1N4007-diodi, kytkimet, piikkirimat, kytkentäpalat, BC337-transistorit, sekä 16-napainen riviliitin. Tarkemmat tiedot Elfalta tilatuista komponenteista löytyvät liitteestä 1. Muista komponenteista on lista liitteessä 2.

5 PIIRIKAAVION JA -LEVYN SUUNNITTELU

Piirikaavion suunnittelu aloitettiin Mentor Graphicsin PADS Logic -ohjelmalla, jonka käyttöä piti hetki muistella ennen kuin pystyi aloittamaan varsinaisen suunnittelun, sillä moni asia oli päässyt melkein unohtumaan muutaman vuoden käyttötauon aikana. Komponenttien luominen piti harjoitella melkein pä alusta, mutta oppipä siinä samalla myös ohjelmasta uusia ominaisuuksia, joiden olemassaolosta en ennen tiennyt.

Juuri kun piirikaavion (liite 3) suunnittelu oli saatu päätökseen ja piirilevyn suunnittelu PADS Layout -ohjelmalla oli hyvässä vauhdissa, päätettiin piirilevyn valmistusmetodi vaihtaa syövytyksestä jyrsimiseen. Elektroniikkalaboratorioon oli hankittu uusi protojyrsin (liite 10), jolla oli tarkoitus jyrsiä ohjainkortin piirilevyä. Koska PADS:istä ei saanut ulos jyrsimen vaatimaa HPGL-muotoista tiedostoa piirilevystä, piti koko piirikaavion suunnittelu aloittaa alusta CadSoftin Eagle Layout editor -ohjelman ilmaisversiolla.

Eaglellä pystyy tekemään piirilevystä HPGL-muotoisen plt-tiedoston käyttämällä mill-outlines -ohjelmaa, joka on yksi Eaglen sisältämistä ULP:eista. ULP:it ovat erillisiä ja joustavia työkaluja Eaglen sisällä, joilla voi muokata dataa Eaglen sisällä tai tuottaa dataa muihin tarkoituksiin Eaglesta. Ilmaisversiossa on rajoitettu piirilevyn koko 8 x 10 senttimetriin, mikä aiheutti vielä ennestään lisää muutoksia suunnitelmiin. (Freeware 2011; Language Program (ULP) - What is This and How to Use it? 2011.)

Koska feteillä tultaisiin ohjaamaan suuria virtoja, piti niiden piirilevyllä olevien vetojen olla erityisen leveitä. Tästä sekä Eaglen ilmaisversion kokorajoituksista seurasi, etteivät fetit ja virransyöttö mahtuisi millään samalle levyllä muun elektroniikan kanssa. Tämän vuoksi oli viisainta aloittaa kahden kaksipuolisen piirilevyn suunnittelu, toiselle levyllä tulisi virta- ja moottoreiden liittimet, fetit, suuri millifaradin kondensaattori sekä suojadiodit. Toiselle levyllä tulisi kaikki muut komponentit.

5.1 HIP4081

Suurin osa HIP4081-piirin tarvitsemista kytkennöistä löytyi suoraan piirin datalehdiltä. Komponenttien arvoja miettiessä löysin myös OSMC:n (Open Source Motor Controller) piirikaaviot (Liite 13), joista sai vertailuarvoja omille komponenttien arvoille. OSMC on avoimen lähdekoodin periaatteella tehty moottorinohjauspiiri, joka on jokaisen vapaasti kopioitavissa ja muokattavissa. Oma kytkentäni oli lähes samanlainen kuin kyseinen kytkentä, koska suuri osa tästäkin kytkennästä noudattaa HIP4081 – piirin datalehtien ohjeita. Eroina mainittakoon, ettei OSMC:ssä ole lainkaan jännitevahtia, sen ylempien fettien ohjaussignaalit ovat eri tavalla kytketty, siinä käytetään useita fettejä rinnan ja komponenteilla on melko erilaiset arvot.

HIP4081-piirin oheiskomponentitkin oli suhteellisen helppo sijoittaa piirilevyllä. Piirin lähtöjen pinnien läheisyyteen sijoitettiin vastus–diodi -parit riveihin, niiden toisen puolen jaloista lähti suoraan erilliset johtimet fettien hiloille. Varauspumppujen diodit ja kondensaattorit sopivat myös erinomaisesti piirien päihin. Kondensaattorien jaloista lähti myös erilliset johtimet suoraan moottoreiden liittimille. Viiveissä käytetyt vastukset olivat melkein ainoat vaakatasoon juotettavat vastukset, koska vaakatasoon asentamalla päästiin vastusten ali vetämään vetoja, joita olisi muuten pitänyt tehdä erillisillä johtimilla.

Molempien HIP4081-piirien kaikki sisääntulot toteutettiin erillisillä johtimilla AND-piiriltä. Toisen HIP4081-piirin disable-pinniin tuleva veto piti tehdä erillisellä johtimella toisen piirin disable-pinnistä. Saman piirin yksi maaveto piti myös tehdä erillisellä johtimella.

5.2 Jännitevahti

Ohjainpiirille suunniteltiin myös jännitevahti (liite 4), jonka tarkoitus oli estää akku-jännitteiden laskeminen liian matalalle ja samalla estää, ettei käyttöjännite laskisi alle regulaattoreiden tarvitseman jännitteen. Jännitevahti toteutettiin kahdella erikokoisella zener-diodilla, joilla säädettiin jänniterajat, kolmella n-kanavaisella BC337-transistorilla, yhdellä palautuvalla kytkimellä ja muutamalla etuvastuksella. Lisäksi yhdellä transistorilla ohjattiin jännitevahdin merkkilediä, kolminapaisella piikkirimalla ja kytkentäpalalla valittiin jänniterajaksi jompikumpi kahden zener-diodin asettamista jänniterajoista.

Jännitevahdilta lähti yksi signaali molempien HIP4081-piirien disable-pinniin. Tällä varmistettiin piirien sisääntulojen olevan estettyinä, niin kauan kunnes ohjainpiirin käyttöjännite olisi riittävä ja käyttäjä nollaisi jännitevahdin katkaisijasta. Jännitevahdilta lähtevä disable-signaali kulki kuusinapaisen piikkiriman läpi, josta valittiin kytkentäpalalla, onko jännitevahti käytössä, vai kytketäänkö disable-signaali suoraan joko HIP4081-piirien reguloituun kahdeksan voltin käyttöjännitteeseen tai suoraan maapotentiaaliin.

Käytössä ollessaan jännitevahti piti disable-signaalin alasvedettynä, kunnes jännite laski edes hetkeksi asetetun raja-arvon alle. Tällöin syttyi punainen led merkiksi vahdin vahdin laukeamisesta ja disable-signaali yhdistettiin HIP4081-piirien käyttöjännitteeseen, joka sai aikaan kaikkien kyseisen piirin sisäänmenojen eston. Jännitevahti saatiin palaamaan takaisin normaalin tilaansa vain, jos käyttöjännite oli raja-arvoa suurempi, ja käyttäjä painoi vahdin katkaisijaa.

Jännitevahdin toiminta myös simuloitiin National Instrumentsin Multisim -ohjelmalla, jonka onnistuttua rakennettiin siitä koekytkentäalustalle testiversio. Kun nämä molemmat testit oli suoritettu onnistuneesti, päätettiin toteutus lisätä myös ohjainpiirille.

6 PIIRILEVYN VALMISTUS

Kun piirilevyt oli saatu suunniteltua, aloitettiin jyrsimiskokeilut, jotka johtivat useiden epäonnistuneiden kokeilujen kautta piirikaavion (liite 5) ja -levyn (liite 6) uudelleen suunnitteluun. Tällä kertaa tuli vain yksipuolinen ja yksikerroksinen piirilevy, johon tuli viisitoista erillisellä johtimella tehtyä vetoa, suurin osa vastuksista ja diodeista sijoitettiin pystyyn, kaksi suotokondensaattoria poistui käytöstä, jännitevahdin kytkentä muuttui hieman ja fetit tulivat erillisten johdinten päihin irralleen, eli koko h-silta oli johdinten päässä, kuten liitteistä 8 ja 9 näkee. Tällä ratkaisulla säästy huomattavasti tilaa piirilevyllä, koska levyllä ei tarvinnut yhtään leveää pitkää vetoa, sillä kaikki suuret virrat kulkivat erillisillä johtimilla suoraan liittinten juuresta feteille ja takaisin toisille liittimille.

Aihioina piirilevyn jyrsimisessä oli yksipuoleista CEM-levyä sekä kaksipuolista lasikuitulevyä. Näissä levyissä on ohut kerros kuparia johdinpuolella, josta jyrsimällä erotellaan piirilevyn tarvitsemat kuparialueet. Tarvittaessa myös kaiken ylimääräisen kuparin olisi saanut jyrsimä, mutta ilman minkäänlaista jyrsimen liikeratojen optimioimisohjelmaa, tähän olisi mennyt huomattava määrä aikaa ilman, että siitä olisi saatu suurta hyötyä.

6.1 Alussa ilmenneet ongelmat

Kuten jo aiemmin mainittiin, piirilevyn valmistukseen käytetty protojyrsin, oli vasta testivaiheessa, kun piirilevyn jyrsiminen aloitettiin. Tästä syystä siinä ei vielä ollut kaikkina terinä kunnollisia, työhön soveltuvia teriä, vaan lähinnä monia erilaisia pienelle käsikaivertimelle sopivia teriä. Lisäksi levyn aihion kiinnitys jyrsimiseen oli

huterana, helposti löystyvä, ja yhdeltä sivulta puuttui kokonaan tuki ja kiinnitykset. Koska käytetyt levyt olivat suhteellisen pehmeää materiaalia, ne taipuivat kaarelle, jos niitä kiristi vähänkään liikaa. Kaikista näistä kiinnitysongelmista johtuen, pääsivät levyn kiinnitykset muutaman kerran löystymään liikaa, mikä aiheutti levyn liikahtamisen jyrinnän aikana, joka taas pilasi koko levyn ja jyrintä oli aloitettava alusta. Tämä ongelma ratkaistiin pitämällä levystä kiinni koko jyrintäprosessin ajan, jolloin levy ei päässyt nousemaan kiinnikkeistään ja liikahtamaan.

Jyrin käytti asetetuilla asetuksilla levyn tekoon yhtä 0,8 mm:n poraa komponenttien jalkojen reikiin sekä läpivienteihin. Piirilevyllä olevien johdinten jyrinnän se hoiti kahdessa erässä. Ensin se jyräsi 0,3 mm:n jyrinterällä johdinten ja itse levyn ääriviivat, minkä jälkeen se jyräsi isommalla 0,6-0,8 mm:n terällä ääriviivat leveämmiksi ja jos oli valittuna, se myös jyräsi samalla terällä kaiken ylimääräisen kuparin levyä pois. Lopuksi se porasi vielä kiinnitysreiät valitulla poranterällä ja jyräsi isolla 2 mm:n jyrinterällä valmiin levyn irti aihioista.

Jyrinässä oli jo heti alussa kunnollisia 0,3 mm:n teriä, jotka oli suunniteltu prototyypin käyttöön, mutta suuremmat terät olivat lähinnä pienoiskaivertimelle sopivia teriä. Yrityksen ja erheen kautta opittiin, että kaksi ensimmäistä 0,8 mm:n terää, joita kokeiltiin, eivät sovellu piirilevyn jyrinämiseen, koska niiden alapinta oli lähes tasainen ja sinne jäi helposti kiinni pala kuparia levyn pinnasta. Tämän jälkeen terä ei enää pureutunut levyyn, vaan luisti siinä tehden samalla vain pieniä naarmuja.

Kolmantena teränä kokeiltiin pallon muotoista 0,8 mm:n terää, joka oli tarkoitettu puun, muovin, sekä pehmeän alumiinin jyrinämiseen. Tämä terä suoriutui yllättävän hyvin pehmeämmän CEM-levyn jyrinämisestä, tosin siinäkin se kului huomattavan nopeasti käyttökelvottomaksi. Kaksipuolista lasikuitulevyä jyrittäessä kyseisellä terällä, kului se melkein käyttökelvottomaksi jo yhden puolen jyrinämisen aikana.

Lopulta jyrsimään saatiin kunnollisia 0,6 mm:n protojyrsimelle tarkoitettuja teriä, joilla sai aikaan siistiä jälkeä levyille sekä löydettiin kaksipuolisia pehmeämpiä CEM - levyjä. Tässä vaiheessa oli kuitenkin jo luovuttu kaksipuolisen levyn ajatuksesta ja suunniteltu yksi yksipuolinen levy, jonka jyrshintä oli suhteellisen kivuton prosessi.

6.2 Komponenttien juottaminen piirilevyille

Komponenttien juottaminen piirilevyille oli tarkkaa työtä, koska komponenttien jaloille varatut alustat olivat erittäin pieniä, vaikka niitä suurennettiinkin kesken testien. Lisäksi kuparoinnilla oli taipumus irrota levyn pinnasta kapeissa kohdissa, jos sitä lämmitti edes hieman liikaa. Erilliset levyille juotettavat johtimet tuottivat myös pientä vaivaa, koska kaikille ei ollut muistettu tehdä läpivientejä suunnitelmissa, joten ne piti juottaa suoraan komponenttien jalkoihin tai levyllä kulkeneisiin vetoihin.

7 TESTAUS JA MITTAUKSET

Ensimmäisessä testissä laite ei toiminut lainkaan, ja jännitevahdin merkkivalo paloi koko ajan, eikä sitä saanut kuitattua millään, HIP4081-piirien ulostulot eivät reagoineet mitenkään sisääntuloihin annettuihin signaaleihin, ja AND-piiri antoi koko ajan yhdestä ulostulosta niin sanottua ykköstä eli viittä voltia. Myös kontaktihäiriöitä löytyi piirilevyiltä, kun merkkiledit sammuiivat ja syttyivät levyä kääntelemällä.

Vian etsintä aloitettiin jännitevahdistista, joka oli toiminut jo aiemmin simuloinneissa, sekä koekytkeäalustalla. Kaikkien piirilevyllä olevien vetojen toiminta katkosten varalta tarkistettiin, kaikki vastukset, diodit, kytkimet ja ledit mitattiin, mutta vikaa ei löytynyt.

Vasta kun transistoreja alettiin tutkia tarkemmin, huomattiin että juuri ennen jyrsimisen aloittamista vaihdettujen transistorien komponenttikuvien, pinnijärjestys olikin väärä. Onneksi tämä vika oli helppo korjata irrottamalla transistorit levyltä, kääntämällä niitä 180 astetta ja kääntelemällä vaihtaa kahden pinnan piirilevylle menevää paikkaa.

Piirilevyltä tinattiin myös samalla kaikki kupariset vedot, koska katkoksia ei löytynyt mitattaessa eri vetojen johtavuuksia. Kaikkien vetojen tinaus oli nopea ja helppo tapa eliminoida katkokset piirilevyllä. Tämä näkyy liitteessä 8.

AND – piirin antaman signaalin syyksi paljastui lopulta monien mittauksien jälkeen sille signaalia lähettäneen radio-ohjattavasta veneestä puretun vastaanottimen viallinen pakin ulostulo. Kyseinen ulostulo oli vastaanottimessa ainoa, johon ei ollut tehty muutoksia, vain juotettu yksi johdin siihen kiinni.

Ulostulon signaalin olisi kuulunut vaihdella noin nolasta voltista suoraan noin neljään volttiin, riippuen lähettimen antamasta signaalista. Mitattaessa ulostuloa sen signaali vaihtelikin noin 2,6 voltista 4 volttiin, jonka siis AND-piiri käsitti ykköseksi, ja koska kyseisen portin molemmat pinnit oli yhdistetty liitospalalla, antoi AND-piiri myös samaa signaalia eteenpäin.

Tämä korjattiin poistamalla pakki käytöstä vaihtamalla siitä johdin turbo-pinniin, jonka kautta peruutus hoidettiin. Myös lähettimestä jouduttiin vaihtamaan pakin sisäänmenosta johdin turbon sisäänmenoon. Näiden ongelmien jälkeen testauksia jatkettiin ja todettiin katkosten hävinneen, AND-piirin saavan kunnollisia ohjaussignaaleja ja välittävän niitä oikein eteenpäin. Myös jännitevahti alkoi toimia juuri kuten pitikin. Ainoastaan ohjauspiirillä tärkeimmässä osassa olevat HIP4081-piirit eivät toimineet vielä.

Piirien kytkennät tarkastettiin useaan kertaan ja todettiin niiden olevan kytketty oikein. Kaikki piireille menevät käyttöjännitteet mitattiin myös useaan otteeseen ja todettiin niiden oleva suunnitellut noin kahdeksan voltia.

Tämän piti sopia datalehdillä annettuun käyttöjännitealueeseen, jonka piti olla kuudesta voltista 15 volttiin. Seuraavaksi tarkastettiin vielä kaikkien muiden piirille tulevien ja siltä lähtevien vetojen johtavuus ja todettiin kaiken olevan kunnossa.

Myös disable-pinniin tuleva signaali tarkastettiin ja todettiin datalehtien arvojen mukaiseksi. Seuraavaksi lisättiin molempien piirien sisäänmenopinneihin vielä alavetovastukset, vaikka näitä ei olisi tarvinnut, mutta koska OSMC:n piirikaaviossa ne olivat.

Tästäkään ei ollut mitään hyötyä, vaan piirit eivät edelleenkään toimineet. Seuraavaksi vaihdettiin sisäiselle varauspumpulle tarkoitetut kaksi elektrolyyttikondensaattoria myös suurempiin ilman minkäänlaista vaikutusta.

Lopulta aloin jopa epäillä piirien viallisuutta, mutta koska molemmat toimivat samalla tavalla, olisi erittäin epätodennäköistä, että ne olisivat viallisia. Viimeisenä vaihtoehtona epäilin virran riittävyyttä, vaikka regulaattorin kuuluisi antaa maksimissaan yhden ampeerin, joka tarkoittaisi siis puolta ampeeria yhdelle piirille.

Irrotin regulaattorin piiriltä ja korvasin sen säädettävällä jännitelähteellä, jonka antojännitteeksi säädin 12 volttia. Tämän jälkeen piirit alkoivat toimia moitteettomasti, eikä minkäänlaisia vikoja ilmennyt. Koska säädettävän jännitelähteen virtaraja oli asetettuna noin 250 milliampeeriin, totesin myös regulaattorin antaneen tarpeeksi virtaa piirille, joten ainoaksi vaihtoehdoksi jäi riittämätön käyttöjännite.

Kun vika oli paikallistettu riittämättömään käyttöjännitteeseen, aloitin sopivan käyttöjännitteen arvon selvittämisen laskemalla säädettävältä jännitelähteeltä tulevaa jännitettä hiljakseen, samalla koko ajan testaten piirien toimintaa. 8,5 voltin kohdalla piirit lakkasivat toimimasta, ja kun jännitteen nosti takaisin tämän yläpuolelle, rupesivat piirit toimimaan taas moitteetta.

Kyseinen jännitetesti suoritettiin useaan kertaan, ja jokaisella kerralla tapahtui sama ilmiö, piirien sisäänmenot lopettivat reagoimisen samalla tavalla, kuin jos disable-pinni aktivoituisi. Näistä mittauksista päätin piirillä olevan sisäinen jänniteraja, jonka alittuessa, disable menee aktiiviseksi ja estää sisäänmenevä signaalit. Tästä ei ole mitään mainintaa HIP4081-piirin datalehdillä, vaan siellä on ilmoitettu käyttöjännitteen toiminta-alueeksi kuudesta voltista 15 volttiin. Ainoa maininta 8,5 voltista on datalehtien lopussa olevassa pienessä ajoituskaaviossa, joka liittyy piirille ulkoisesti tarvittavaan disable-pinnin ohjaukseen, jolla mahdollistetaan piirin luotettava käynnistyminen ja estetään fettien läpilyönti heti alussa.

Vika korjattiin vaihtamalla kahdeksan voltin LDO-regulaattorin tilalle elektroniikkalaboratorion hyllystä löytynyt tavallinen kymmenen voltin 7810-regulaattori. Tämän regulaattorin tilalle on myöhemmin tarkoitus vaihtaa yhdeksän voltin LDO-regulaattori, jolloin akkujännite voisi laskea noin 9,5 volttiin piirin toimiessa silti luotettavasti, sillä nykyinen 7810-regulaattori vaatii 12 voltin jännitteen toimiakseen luotettavasti, mikä taas ei mahdollista akkujännitteen alenemista juuri lainkaan.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa akkukäyttöinen ohjainpiiri kahdelle tehokkaalle DC-moottorille. Omasta mielestäni onnistuin tässä hyvin, kun otetaan huomioon työn aikana tulleet itsestäni riippumattomat vastoinkäymiset.

Työn aikana opin paljon uutta asiaa piirilevyn suunnittelusta, komponenttien valinnasta sekä niiden sijoittelusta piirilevyille. Myös erilaiset piirilevyjen valmistusmenot ja niiden vaatimukset suunnittelun osalta tulivat tutuiksi. Virheiden etsintä opetti huolellisuutta sekä tarkistamisen tärkeyttä. Lisäksi opin myös suhtautumaan hie-man kriittisemmin valmistajien datalehtiin sekä niissä ilmoitettuihin tietoihin, sillä niihinkin on voinut vahingossa joutua virheellistä tai vanhaa tietoa.

Työssä tuli vastaan suunnittelussa muutama selkeä virhe, jotka olisi ollut helppo välttää, jos ei olisi kiirehtinyt liikaa ja muistanut tarkastaa kytkennät joka vaiheen jälkeen kahteen kertaan. Nämä virheet oli onneksi helppo korjata suoraan piirilevyille, eikä niiden muuttaminen piirilevyn tuleviin versioihin olisi suuri työ.

Suunnitteluun käyttämäni ohjelmat olivat minulle entuudestaan etäisesti tuttuja, koska olin käyttänyt molempia pienissä määrin aiemmissa koulutöissä. Tosin Eaglen käyttö oli ollut hyvin vähäistä, ja siitä oli jo useampi vuosi aikaa. PADS:iä en ollut käyttänyt myöskään viimeiseen pariin vuoteen, mutta sitä olin puolestaan käyttänyt hieman enemmän, joten muutamat perusasiat olivat iskostuneet jo selkärankaan.

PADS:issä jouduin kuitenkin opettelemaan uudestaan komponenttien luonnin alusta loppuun, mikä ei onneksi ollut suuri työ, lähinnä internetistä löytyvien oppaiden avulla. Myös muiden asioiden muistelussa ja niiden käytön harjoittelussa meni hetki, vaikkakin suurin osa muistui nopeasti mieleen pienen harjoittelun jälkeen.

Eaglen käytön jouduin käytännössä opettelemaan kokonaan uusiksi, koska edellisestä pienestä käyttökerrasta oli kulunut jo useita vuosia. Erityisesti komponenttien luonti tuotti suuria vaikeuksia, koska olin jo kerinnyt tottua PADS:iin, ja siinä komponentit luodaan käytännössä täysin eri tavalla kuin Eaglessa. Myös komponenttien hakemisen opettelu Eaglessa vei oman osan ajastaan. Piirikaavion tekoonnistui Eaglella lopulta suhteellisen helposti, kunhan oli muutamat virheet ja ongelmat kokenut ja niistä viisastunut.

Piirilevyn luonnissa Eaglella oli myös omat ongelmansa, koska olin jo kerinnyt sisäistämään PADS:issä käytetyn logiikan. Piirilevyn suunnittelu Eaglella tuntui haastavammalta kuin PADS:issä, koska PADS osaa reitittää vetoja mielestäni viisaammin. Myös Eaglessa olevan mill-outlines -ohjelman jotkin vaatimukset, hankaloittivat piirilevyn suunnittelua, koska kaikkia Eaglen piirilevyn piirto-ominaisuuksia ei voinut käyttää, vaan esimerkiksi täytöt piti tehdä käsin, jotta mill-outlines.ulp suostui toimimaan.

8.1 Virheet suunnittelussa

Yksi suurimmista ongelmista komponenttien kanssa, oli HIP4081-piirin käyttöjännitteissä. Tähän ongelmaan en osannut voinut varautua etukäteen, koska kuten aiemmin mainitsin, oli piirin datalehdillä ilmoitettu jännitealue virheellinen. Tämäkin virhe oli kuitenkin löydyttyään helppo korjata olemassa olevalle piirilevyllä vaihtamalla regulaattori toisenlaiseen. Tuleviin piirilevyihin tämä muutos on helppo toteuttaa, koska käyttämällä samalla pinnijärjestyksellä varustettua, eri jännitettä syöttävää regulaattoria, ei piirilevyn vetoihin ja asetteluun tarvitse tehdä muutoksia.

Näin jälkikäteen ajateltuna olisi viisaampaa ollut laittaa tämän regulaattorin tilalle kytkentään säädettävä regulaattori, joka olisi tarvinnut lisäksi vain yhden tavallisen vastuksen sekä yhden säädettävän vastuksen, joilla olisi saatu säädettyä reguloitua jännitettä halutuksi.

Itse tein myös yhden kohtalaisen virheen, kun vaihdoin juuri ennen piirilevyn valmistuksen aloittamista transistorien komponenttikuvia toisiin, enkä kiireessä muistanut tarkastaa uuden kotelotyypin pinnijärjestystä. Tein vedot piirilevyllä uuden kotelotyypin mukaan, joka ei vastannut minulla käytössä olleita transistoreita, jolloin koko kyseinen kytkentä lopetti toimintansa.

Tämän selvittyä oli virhe suhteellisen helppo korjata olemassa olevalle piirilevyllä kääntämällä transistoreja 180 astetta ympäri ja taivuttamalla kaksi laitimmaista jalkaa kulkemaan ristiin. Tulevaa piirilevyä varten olisi helpointa vaihtaa transistorit kuvia vastaaviin, sillä muuten pitäisi lähes kaikki jännitevahdin vedot suunnitella uusiksi.

Myös piirilevyn komponenttiasetteluun panostamalla olisi voinut saada erillisten ulkoisten johdinten määrää vähäisemmäksi. Tätäkään ongelmaa ei todennäköisesti olisi ollut, jos piirikaaviota ja itse levyä ei olisi joutunut suunnittelemaan niin monesti uusiksi valmistustavan ja käytössä olleen suunnitteluohjelman rajoitusten vuoksi.

Myös käyttämällä pintaliitoskomponentteja olisi toteutunutta piirilevyä saatu järke-

vämmäksi ja tiiviimmäksi asettelun kannalta. Toisaalta käyttämällä joissain tilanteissa läpiladottavia komponentteja, välttyttiin ylimääräisiltä erillisiltä johtimilta, koska komponentilla itsellään sai tehtyä vedon ylityksen.

8.2 Virheet piirilevyn valmistuksessa

Valmistusvaiheessa tuli myös muutamia virheitä, jotka olisi voinut välttää, jos olisi ollut enemmän kokemusta protojyrsimen käytöstä tai kokonaan eri valmistusmetodi. Ensinnäkin piirilevyn jalkojen padit jäivät liian pieniksi, vaikka niitä suurennettiin ensimmäisten jyrsintätestien jälkeen.

Liian pienet padit meinasivat osittain irtoilla jo jyrsintävaiheessa ja jotkin niistä irtosivat lopullisesti juottaessa komponentteja piirilevylle. Tämän olisi pystynyt välttämään, suunnittelemalla padit suuremmiksi, erimuotoisiksi ja käyttämällä pienempää terää reikien tekoon. Kaikissa kohdissa tosin ei ollut mahdollisuutta käyttää edellä mainittuja tekniikoita tilanpuutteen vuoksi.

Levyllä ilmeni myös katkoksia johtimissa, jotka johtuivat osittain vähäisestä kokeemuksestani juottamisessa ja osittain piirilevyn pinnasta, johon ei tina meinannut aina tarttua. Tinnan tarttumiseen olisi ollut ratkaisuna karhentaa hieman kuparin pintaa ennen juottamisien alittamista.

Koska olin jo ehtinyt juottaa useita komponentteja kiinni, ennen kuin totesin ongelman johtuvan osittain levyn pinnasta, oli myöhäistä alkaa karhentaa levyn pintaa. Ratkaisuna kontaktihäiriöihin vedoissa, tinasin kaikki piirilevyn vedot läpeensä, jolloin ongelma poistui. Ratkaisu oli helppo toteuttaa ja toimiva, vaikkakaan se ei ollut ulkonäöllisesti paras mahdollinen.

8.3 Mahdolliset parannukset

Nykyiseen versioon ohjainkortista voisi myöhemmin vaihtaa paksummat johtimet H-sillalle ja virtajohtimiksi, jolloin piirillä pystyisi ohjaamaan vielä suurempia virtoja.

Piirin sisääntuloja ohjaavaksi laitteeksi voisi suunnitella ja rakentaa mikrokontrollerilla tai ohjelmoitavalla logiikkapiirillä datamuuntimen. Tämä muunnin osaisi muuntaa useista erilaisista ohjaussignaaleista ohjainpiirille sopivaa dataa. Tällä ratkaisulla voisi piiriin kytkeä suoraan erilaisia kaupallisia radiolähetin- ja -vastaanotinpareja.

Lisäksi piirilevyn kiinnityksiä voisi parannella, koska nykyiseen piirilevyyn ei tullut erillisiä kiinnitysreikiä kiireen sekä tilanpuutteen vuoksi.

9 LÄHTEET

1.5KE6V8CA/440CA, 2002, Elfa [viitattu 13.4.2011]

Saatavissa: https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/1-5KE_eng_datasheet.pdf

19. User Language Program (ULP) - What is This and How to Use it?, 2011, Eagle FAG [viitattu 14.4.2011]

Saatavissa: <http://www.cadsoft.de/faq.htm#06011305>

DC motor, 2011, Wikipedia [viitattu 12.4.2011]

Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/DC_motor

Freeware, 2011, Eagle [viitattu 14.4.2011]

Saatavissa: <http://www.cadsoft.de/freeware.htm>

H-bridge, 2011, Wikipedia [viitattu 12.4.2011]

Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/H_bridge

HIP4081, 1999, Elfa [viitattu 13.4.2011]

Saatavissa: https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/csHIP-4080Axx_e.pdf

JFETa, 2010, Wikipedia [viitattu 12.4.2011]

Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/JFET>

JFETb, 2011, Wikipedia [viitattu 12.4.2011]

Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/JFET>

LM2940, 2003, Elfa [viitattu 13.4.2011]

Saatavissa: https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/kcLM2940_e.pdf

Lorentzin voima, 2011, Wikipedia [viitattu 12.4.2011]

Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Lorentzin_voima

M74HC08, 1992, Elfa [viitattu 13.4.2011]

Saatavissa: https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/wo647662_e.pdf

Matilainen & Helenius, 2010, DC-moottorin ohjaus [viitattu 12.4.2011]

Saatavissa: https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/kon-41.3130/materiaali/Kon-41_3130_4_dc-moottorin_ohjaus.pdf

MC7800, 2003, Elfa [viitattu 13.4.2011]

Saatavissa: https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/bxONSemico_SpanRegler-positiv-MC78_EN.pdf

MOSFETa, 2011, Wikipedia [viitattu 13.4.2011]

Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/MOSFET>

MOSFETb, 2011, Wikipedia [viitattu 13.4.2011]

Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/MOSFET>

STP75NF75, 2007, Elfa [viitattu 13.4.2011]

Saatavissa: https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/qnSTM_FET-STP75_EN.pdf

Transistor, 2011, Wikipedia [viitattu 12.4.2011]

Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Transistor>

Transistori, 2011, Wikipedia [viitattu 12.4.2011]

Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Transistori>

10 LIITTEET

Liite 1. Elfalta tilatut osat.

Liite 2. Muut osat.

Liite 3. Ensimmäinen versio piirikaaviosta.

Liite 4. Jännitevahti.

Liite 5. Lopullinen versio piirikaaviosta.

Liite 6. Lopullinen version layout – kuva.

Liite 7. Valmis ohjainkortti.

Liite 8. Fetit johtojen päässä.

Liite 9. Ohjainkortti, radiovastaanotin ja virransyötön komponentteja

Liite 10. Protojyrsin.

Liite 11. Radio-ohjatusta veneestä purettu ja muokattu vastaanotin ja sen lähetin.

Liite 12. Alkuperäisen ja muokatun vastaanottimen piirikaaviot.

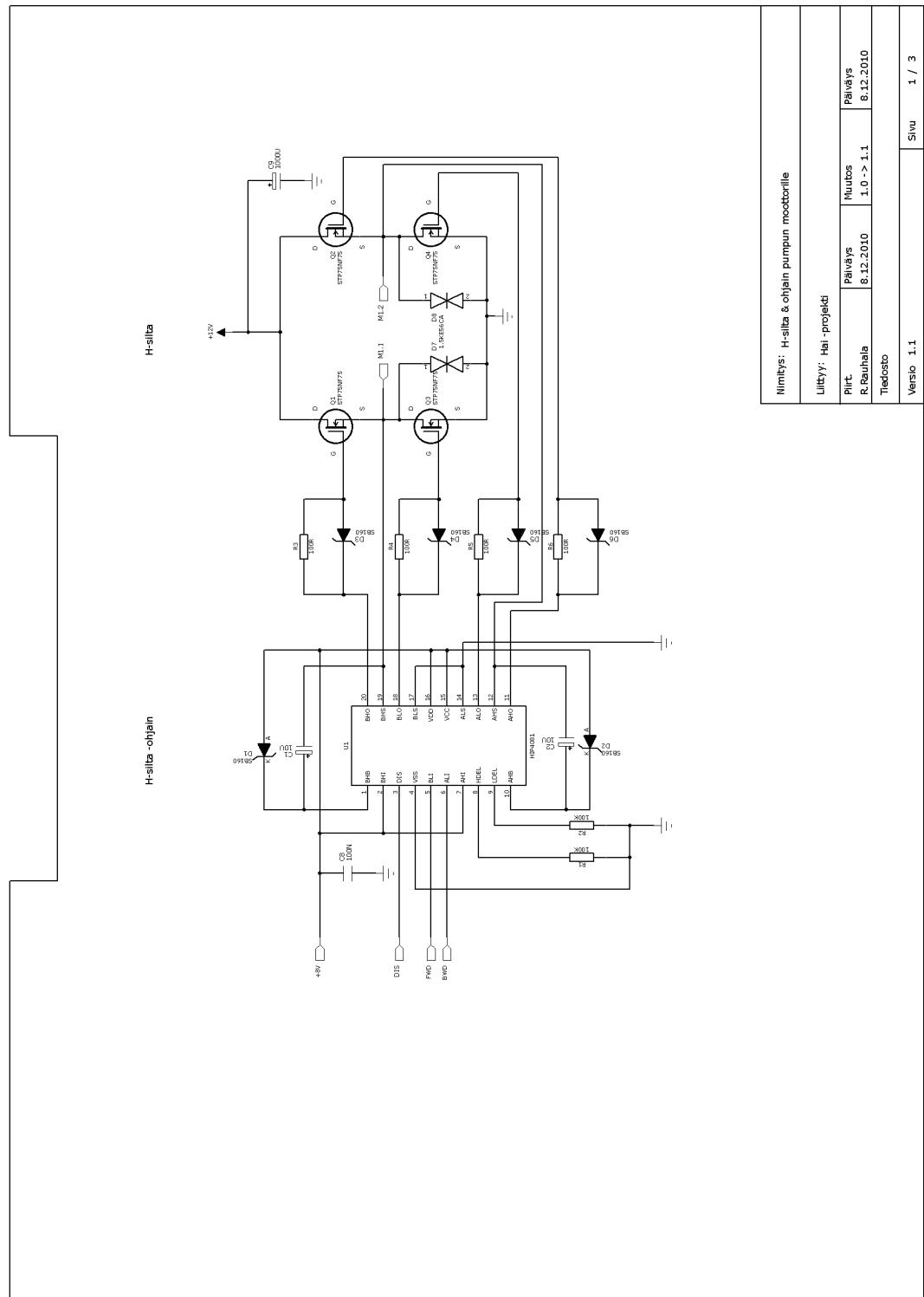
Liite 13. OSMC:n piirikaavio.

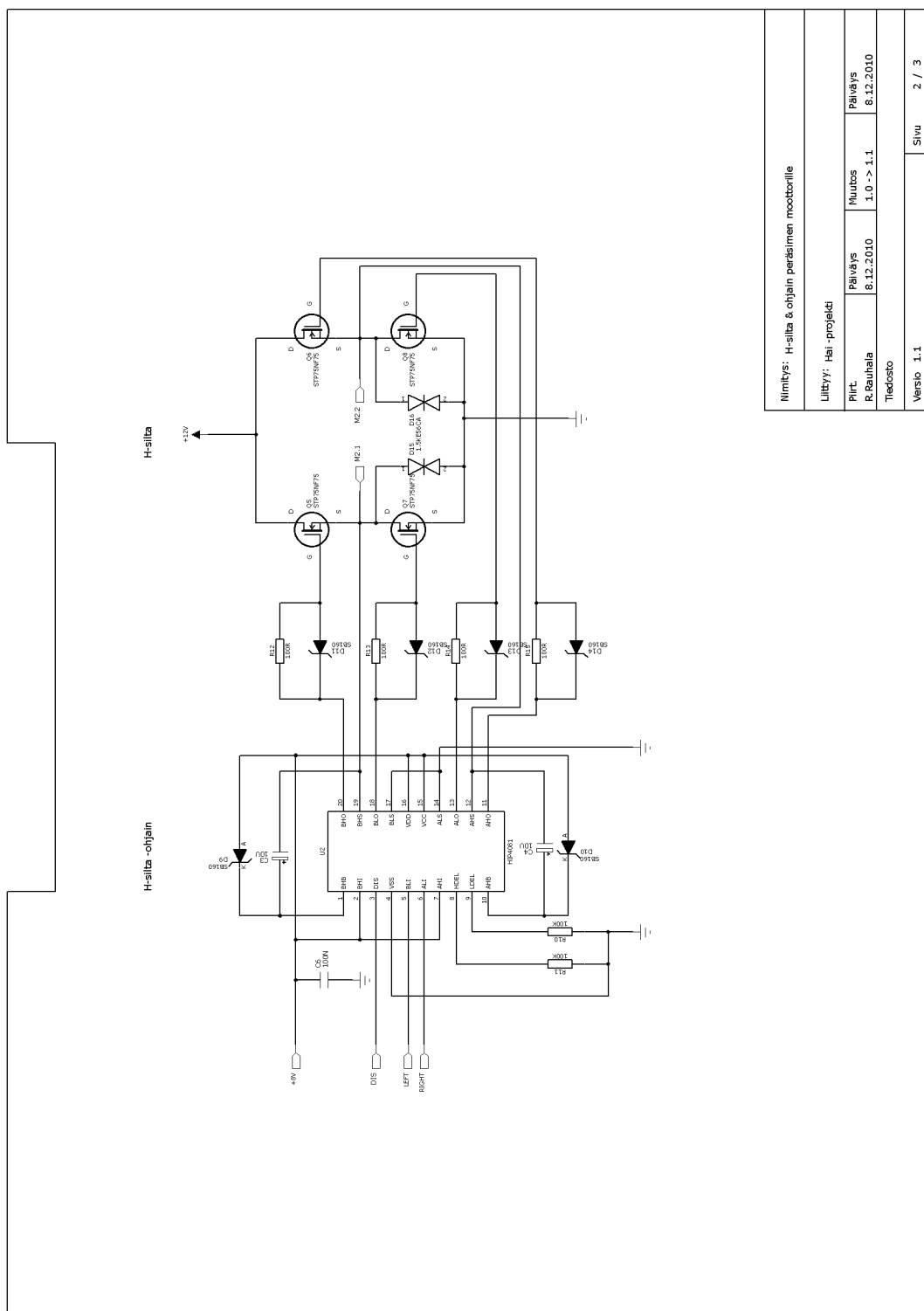
LIITE 1

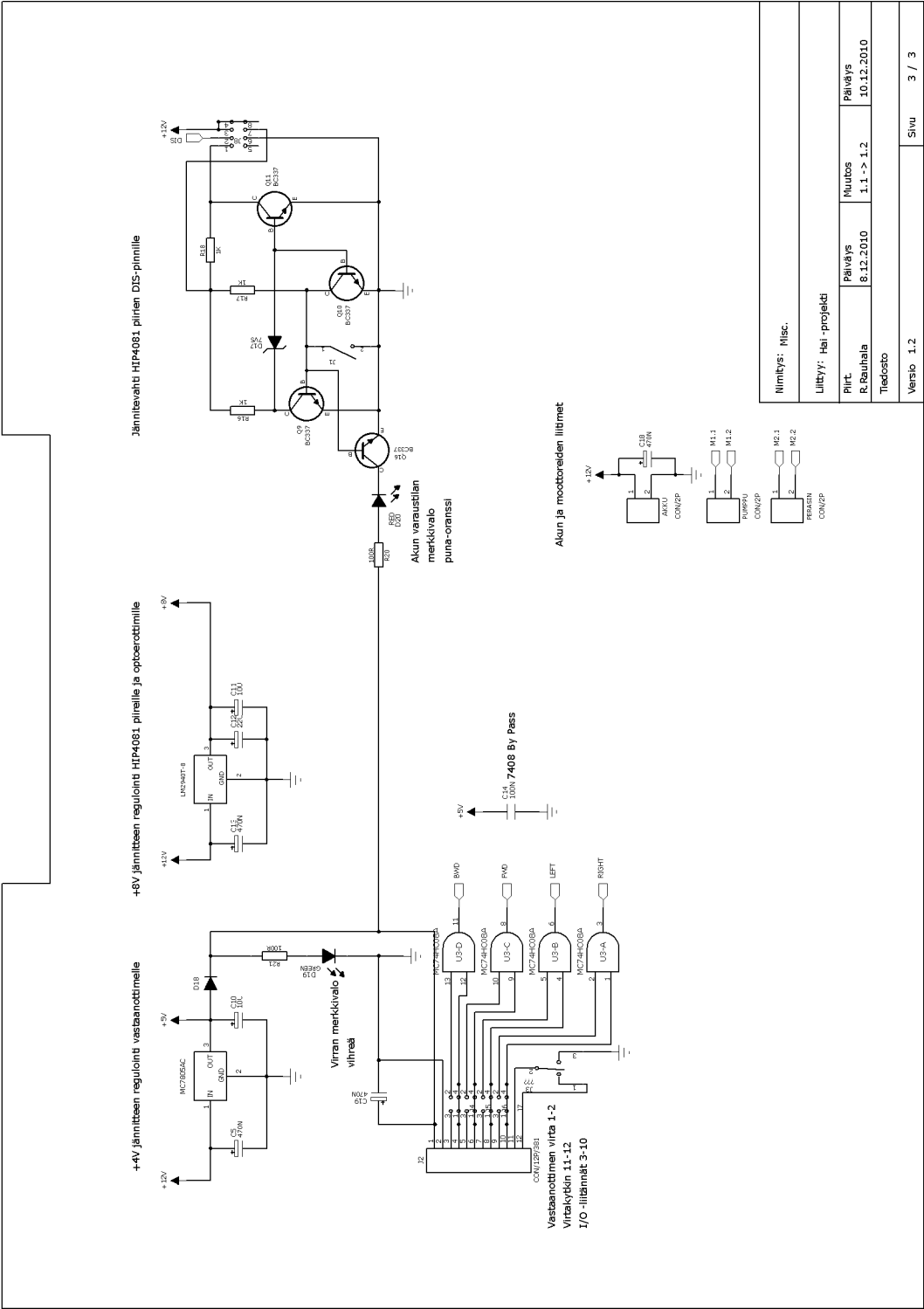
Lopulliset Elfalta tilatut osat:				
tilausnro.	Nimi:	kpl:	a hinta	yhteensä:
48-336-40	Piirikorttiliitin, 2-nap, MKDS 3/2	3	0,88 €	2,64 €
37-007-42	Teollisuusrele 12VDC, TR93F-12VDC-SD-A	1	4,46 €	4,46 €
67-235-14	Alu-Elko, 22 µF 50 VDC, 50ME22WX	1	0,14 €	0,14 €
67-194-88	Alu-Elko, 1000 µF 50 VDC, RJH-50V102MJ7#-F	1	1,51 €	1,51 €
67-042-35	Alu-Elko, 10 µF 63 VDC, NRWA100M63V5X11	4	0,05 €	0,20 €
65-716-81	Kerko, 100 Nf 50 VDC, C322C104K5R5CA C-7301	3	0,14 €	0,42 €
67-713-25	Tantaali, 10 µF 16 VDC, TAP106M016SCS	2	0,79 €	1,58 €
67-778-17	Tantaali, 0.47 µF 35 VDC, T350A	4	0,58 €	2,32 €
75-016-79	LED vihreä 5 mm (T1¾), 383VGC	250	0,01 €	2,50 €
75-038-73	LED punainen-oranssi 5 mm (T1¾), 383ID	250	0,01 €	2,50 €
70-120-11	Schottky-diodi, AC 60 V 1 A, SB 160	12	0,16 €	1,92 €
70-154-98	Suojadiodi, 47.8 V 1500 W, 1.5KE 56CA	5	1,18 €	5,90 €
71-009-36	MOSFET N 75 V 80 A, STP 75NF75	10	1,35 €	13,50 €
73-795-27	Quad 2-Input AND TP, M74HC08B1R	1	0,40 €	0,40 €
73-303-84	Siltaohjaimet, HIP4081AIPZ	2	9,98 €	19,96 €
73-286-55	Jänniteregulaattori 5 V, MC7805ACTG	1	0,40 €	0,40 €
73-083-31	Jänniteregulaattori LDO 8 V, LM2940T-8/NOPB	1	1,71 €	1,71 €
			Yhteensä:	62,06 €

LIITE 2

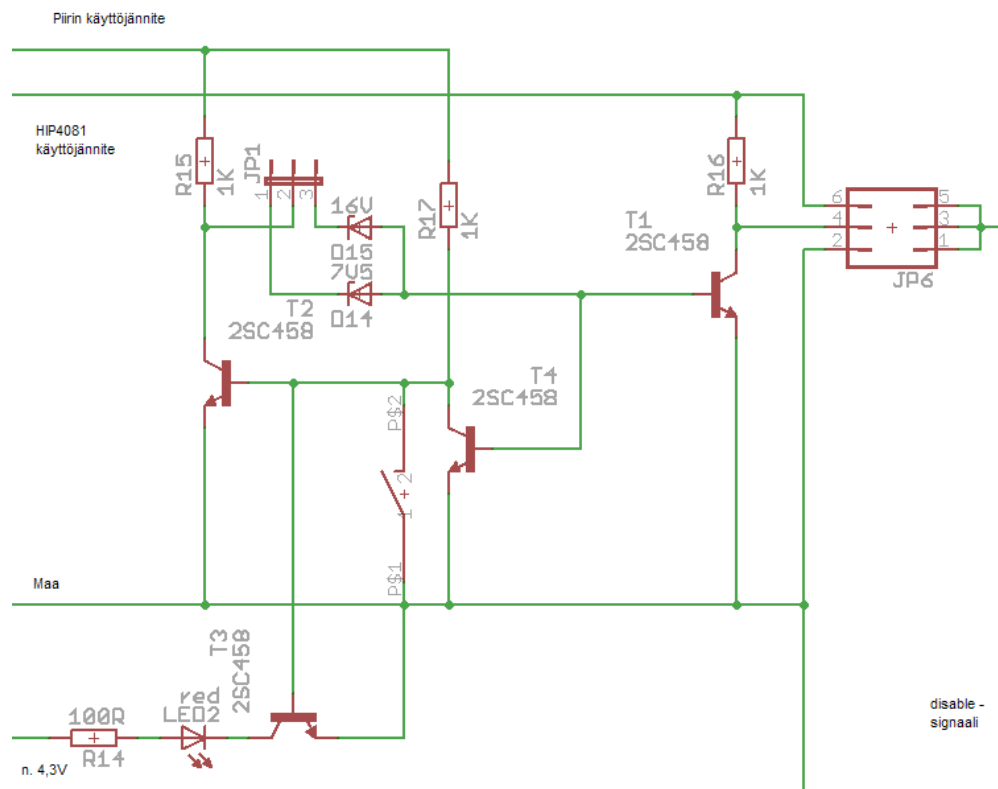
Luokan hyllystä löytyneet osat:	
komponentti:	määrä:
Vastus 1K	3
Vastus 100K	4
Vastus 100R	10
Transistori BC337	4
Liukukytkin, 2-asentoinen	1
Painokytkin, palautuva	1
Zener diodi 7V5	1
Zener diodi 16V	1
Diodi 1N4007	1
Regulaattori 7810	1
Riviliitin, 16-nap, ruuviliitt.	1
piikkirima, 4-nap	4
piikkirima, 3-nap	1
oikosulkupala	5
Lisäksi omasta varastostani:	
Sulakepesä auton sulakkeille	1
25A sulakkeita	5

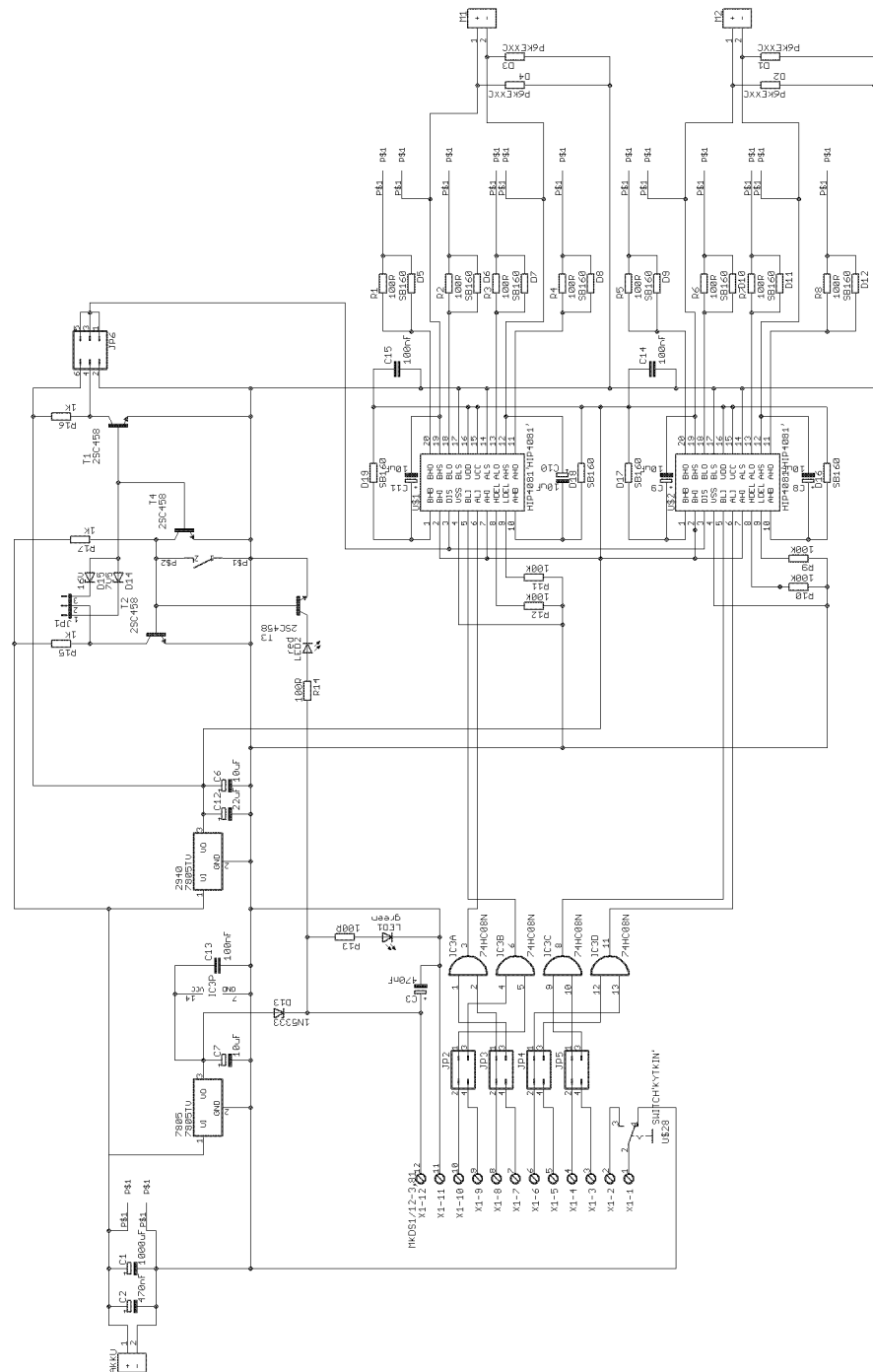






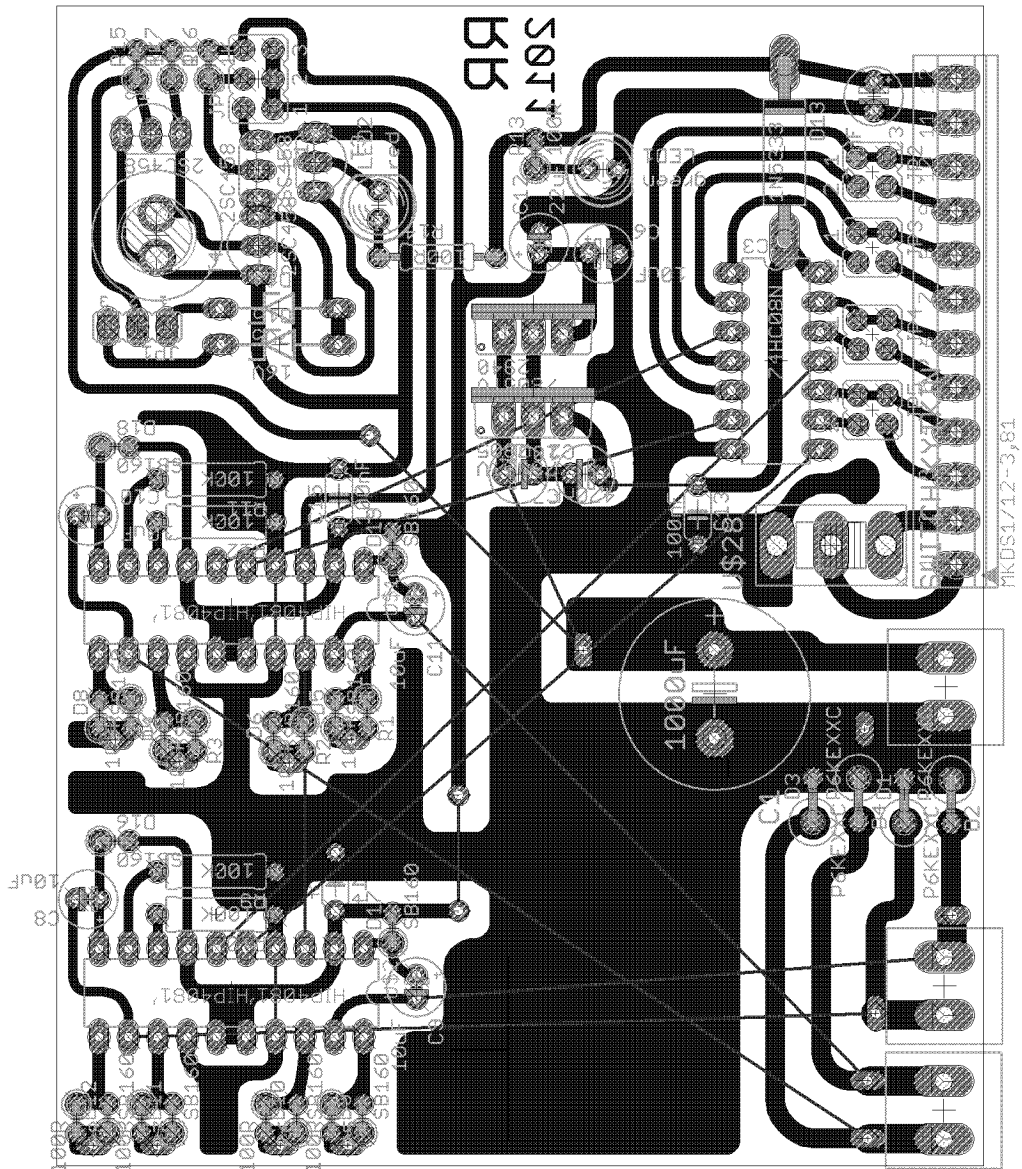
LIITE 4





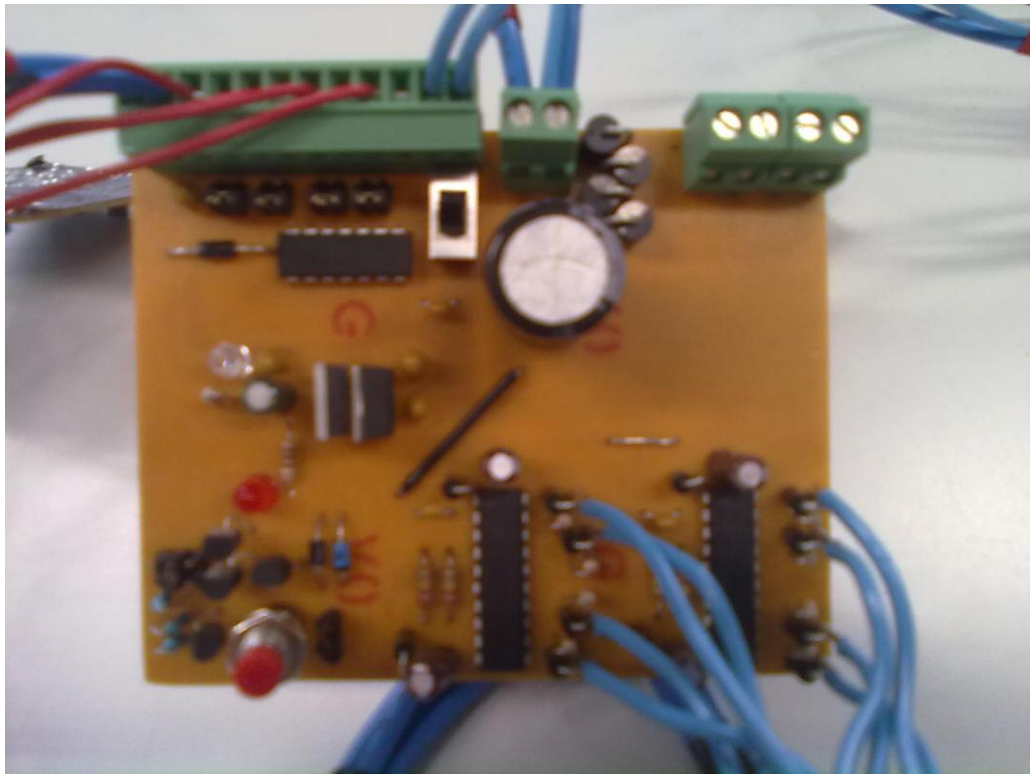
14.4.2011 13:27:08 f=0.75 C:\Documents and Settings\Riku\My Documents\eagle\HA\HA-fetit1side.sch (Sheet: 1/1)

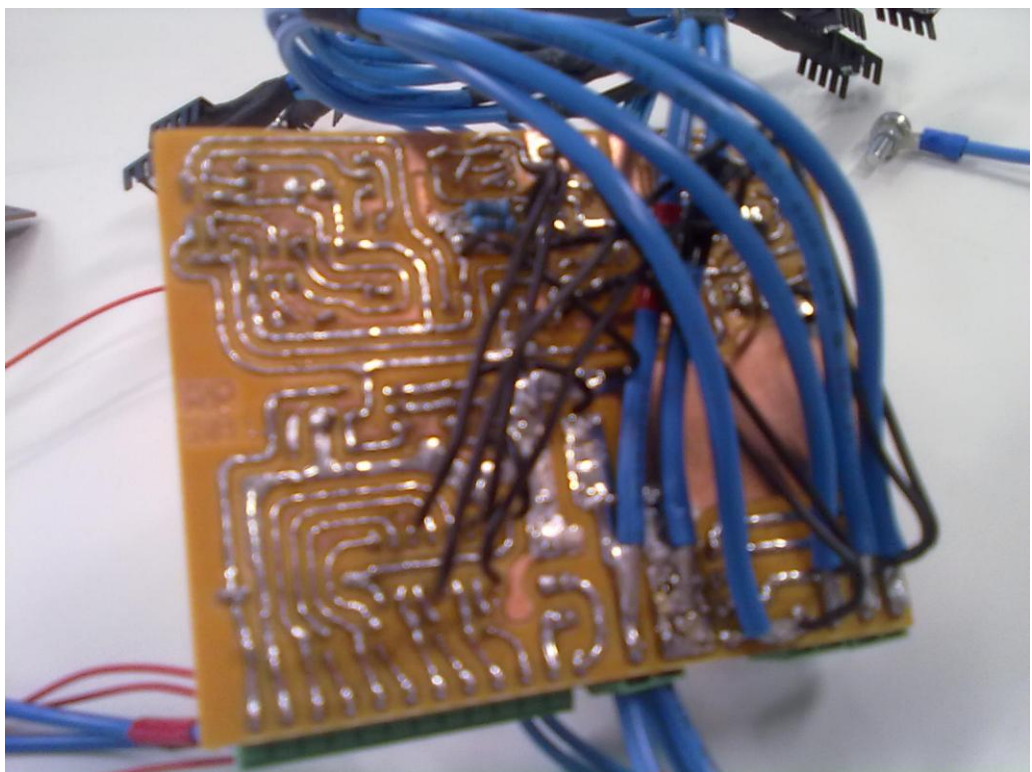
Kuvasta puuttuu itse H-silta, koska se ei tullut piirilevyille, vaan erillisten johdinten päähän. Lisäksi kaikki levyille pystyyn kiinnitetyt komponentit on esitetty vastuksina, koska kyseisille komponenteille ei ollut omia pystykuvia.

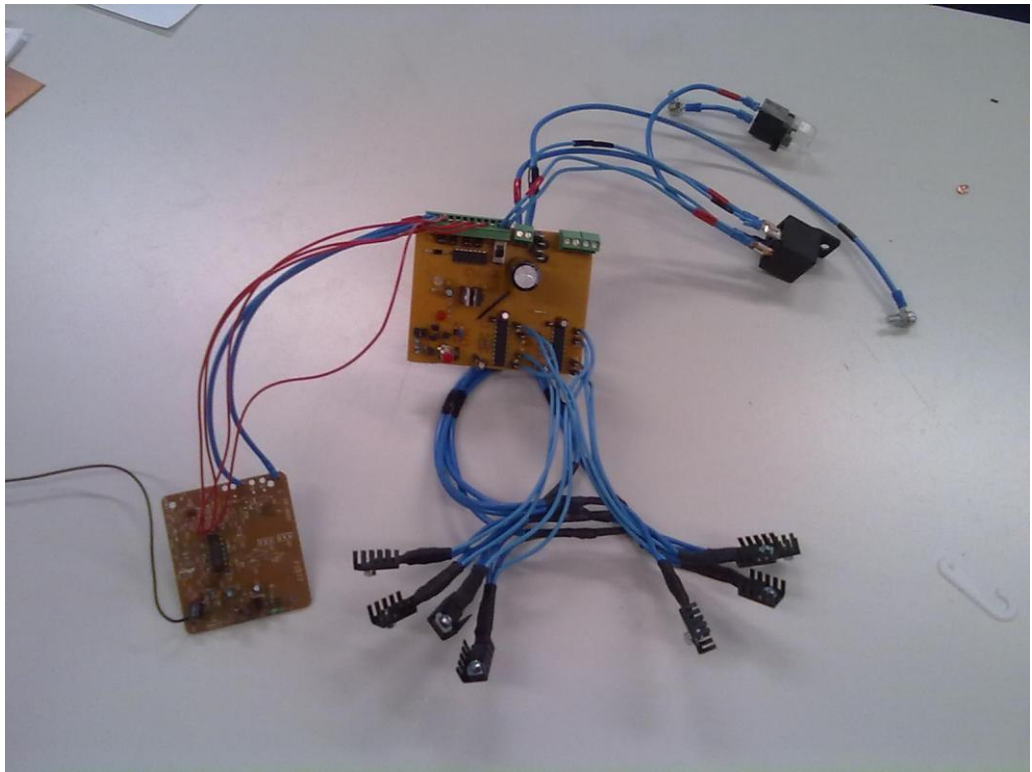


14.4.2011 13:28:38 f=2.30 C:\Documents and Settings\Riku\My Documents\leagle\HA\HAI-feti1side.brd

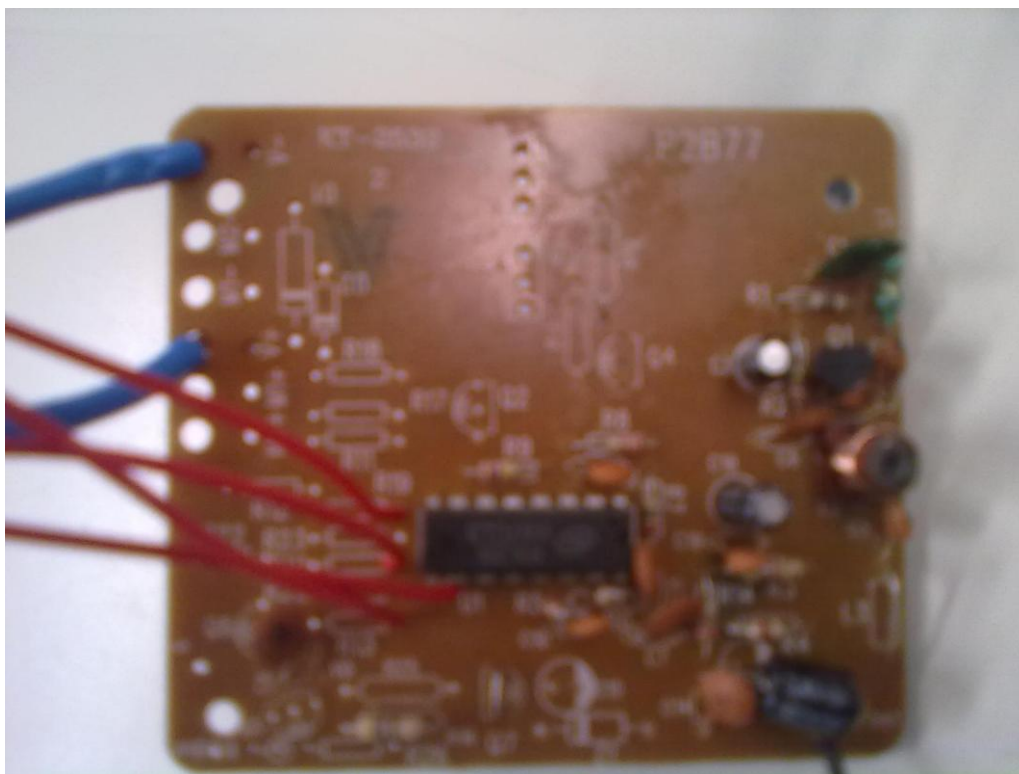
Kuvassa näkyvät ohuet vedot ovat erillisillä johtimilla tehtyjä vetoja.







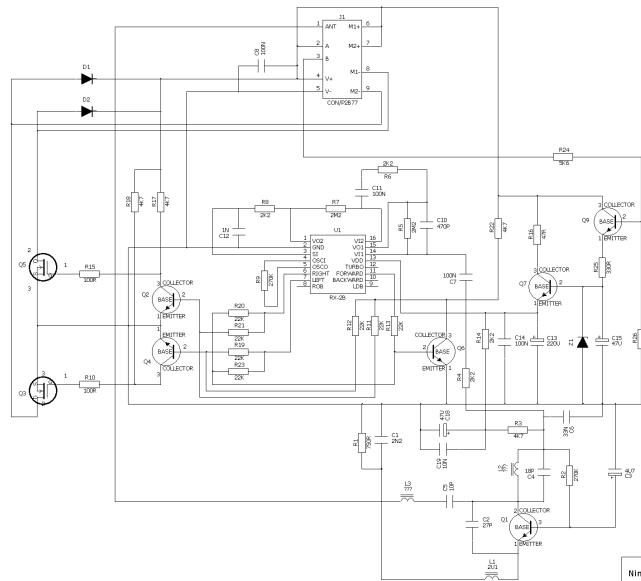




Muokattu radiavastaanotin

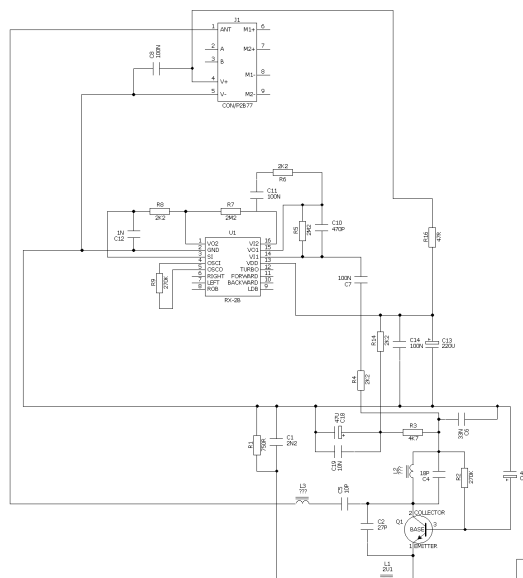


Lähetin/ohjain



Nimitys: Vastaanotin			
Liitty: Hai -projekti			
Piirt. Riku R	Päiväys 3.11.2010	Muutos	Päiväys
Tiedosto			
Versio 1.0		Sivu	1 / 1

Alkuperäinen vastaanotin



Nimitys:			
Liitty:			
Piirt.	Päiväys	Muutos	Päiväys
Tiedosto			
Versio		Sivu	/

Muokattu vastaanotin

